

PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS



GUÍA PRÁCTICA 2

RECOMENDACIONES PARA
EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN
DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



La presente Guía de Evaluación Preliminar de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs) es parte de la serie técnica de PCHs elaborada por BUN-CA y la cual puede ser accedida en el siguiente enlace electrónico:

www.bun-ca.org/areas-de-trabajo/energia-renovable/

Esta Guía menciona las consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar, construir e instalar un sistema hidroeléctrico a pequeña escala. La información de la Guía se sintetiza a partir de las experiencias en campo por parte de diferentes desarrolladores y la agenda de desarrollo de BUN-CA en Centroamérica.

Introducción

La Fundación Red de Energía, (BUN-CA), es una organización no gubernamental, legalmente constituida en Costa Rica desde 1991, la cual trabaja en la región centroamericana, en los temas de: i. Energía Renovable mediante el uso sostenible de tecnologías más limpias; y ii. Eficiencia Energética para optimizar los sistemas de generación, distribución y uso final de la energía; sobre todo para promover el acceso de la energía a las poblaciones más vulnerables.

FATEF (Factibilidad Técnica y Financiera para el desarrollo humano en Centro América) un proyecto ejecutado por BUN-CA, con el apoyo financiero de la “United States Agency for International Development”, en adelante USAID, según el USAID Grant Agreement N°17-009- 5-004, en el marco del “Fondo Centroamericano para el Acceso a la Energía y Reducción de la Pobreza”, (FOCAEP), el cual es impulsado por BUN-CA a nivel regional con el objetivo de contribuir al desarrollo económico rural, reducción de la pobreza e inclusión de la perspectiva de género.

FATEF tiene como objetivo remover las barreras que enfrenta la energía renovable a pequeña escala fortaleciendo la capacidad local para el desarrollo de proyectos en Centroamérica, con el fin de reducir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero y mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales de difícil acceso y distantes de la red eléctrica interconectada, mediante la provisión de energía limpia. Adicionalmente, estos proyectos pueden disminuir la contaminación del medio ambiente causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles derivados del petróleo.

La presente Serie Técnica contribuye a la remoción de las barreras de información existentes en todas las etapas del desarrollo de un sistema hidroeléctrico a pequeña escala, el cual brinda información desde la identificación de sitios potenciales y su diseño, hasta la operación y mantenimiento de las inversiones.

¿Cómo se usa esta Serie Técnica de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas?

La Serie Técnica de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs) se compone de cinco guías que describen de una forma amigable información sustantiva de las etapas del desarrollo de una PCH. Esta inicia con una explicación para la evaluación de sitios potenciales, recomendaciones básicas para el diseño del proyecto, su funcionamiento y los pasos necesario para la operación y mantenimiento óptimo de la inversión.

A continuación, se describe en qué consiste cada Guía, por lo que el lector puede escoger individualmente el fascículo de su interés:

Guía Técnica. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas: brinda información general sobre las características de las PCHs, ventajas, impactos, entre otros. Esta información sirve como introducción para que cualquier persona conozca y entienda con mayor profundidad sobre la tecnología y sus beneficios.

Guía Técnica 1. Guía de Evaluación Preliminar: la Guía 1 describe los pasos para que, preferiblemente el mismo propietario de la finca, realice el cálculo de datos técnicos básicos tales como: caudal y altura. A partir de esta información, esta Guía facilita la forma de cómo se va a utilizar la energía y el tipo de turbina hidráulica recomendada. Esta información luego debe ser validada por un técnico o profesional en el tema.

Guía Técnica 2. Guía de Recomendaciones para el Diseño, Construcción e Instalación: la Guía 2 describe los pasos que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar, construir e instalar una PCH. La información de la Guía 2 se sintetiza basada en las experiencias en campo por parte de diferentes desarrolladores y la agenda de trabajo que ha desarrollado BUN-CA en Centroamérica desde 1991.

Guía Técnica 3. Guía para la Puesta en Marcha y Mantenimiento: la Guía 3 brinda los pasos básicos que pueden seguir el mismo propietario de la finca o encargado del financiamiento del sistema para la operación y mantenimiento de una PCH.

Guía Técnica 4. Guía de Monitoreo: la Guía 4 describe los pasos para la revisión técnica de una PCH durante la fase de operación para velar por un nivel óptimo de funcionamiento.

Tabla de Simbología y Siglas

η	Eficiencia (del sistema: generador y turbina)	m/s	Metro por segundo (unidad de velocidad)
"	Pulgada	m ²	Metro cuadrado (unidad de área)
A	Ampere (unidad de medida de la corriente eléctrica)	MCHs	Microcentrales Hidroeléctricas
CO ₂	Dióxido de carbono	P	Potencia activa
cos φ	Factor de potencia	PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica
E _p	Energía potencial	pCH	Pico Central Hidroeléctrica
HP	Caballo de fuerza (unidad de potencia -746 W-)	psi	Libra por pulgada cuadrada - por sus siglas en inglés - (unidad de medida de la presión)
Hz	Hertz (unidad de medida de la frecuencia eléctrica)	PVC	Cloruro de polivinilo
kVA	Kilovoltio Ampere (unidad de medida de la potencia aparente)	Q	Caudal (volumen/tiempo)
kW	Kilowatt o Kilovatio (unidad de potencia)	S	Potencia aparente
kWh	Kilowatt-hora (unidad de medida del consumo eléctrico)	s	Segundo (unidad de medida de tiempo)
l	Litro (unidad de medida de volumen)	V	Volt o voltio (unidad de medida del voltaje o tensión eléctrica)
l/s	Litro por segundo (unidad de medida del caudal)	W	Watt o vatio (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = Watt)
m	Metro (unidad de medida de longitud)	Ω	Ohm (unidad de medida de resistencia eléctrica)
m.c.a	Metros de columna de agua (unidad de medida de presión)		

¿Qué es la Energía Eléctrica?

Conceptos básicos de energía eléctrica:

Consumo de energía: es la cantidad de energía usada en un período de tiempo determinado. Se simboliza por kilovatio-hora (kWh).

Corriente eléctrica: la corriente eléctrica se divide en dos tipos: directa y alterna. En la directa la energía circula siempre en un mismo sentido de un polo negativo hacia un polo positivo, y en la alterna, tiene un patrón cíclico descrito como una onda sinusoidal (a este patrón cíclico se llama frecuencia eléctrica).

Demanda eléctrica: es la potencia útil para operar equipos eléctricos (e.g. refrigeradores, motores, iluminación, comunicación), la cual se calcula sumando todas las potencias de los equipos empleados en la finca, según la placa que instala el fabricante en cada equipo.

Electricidad: en términos sencillos, la electricidad son electrones en un flujo con un movimiento ordenado. Algunos materiales están compuestos de átomos que pierden sus electrones fácilmente, y pueden pasar fácilmente de un átomo a otro, de esta forma, se crea una corriente eléctrica, es decir, un flujo constante de electrones, como es el caso de los alambres de cobre.

Factor de carga: es un indicador para medir la productividad de la central hidroeléctrica. Este factor se calcula comparando la producción eléctrica real versus la producción que podría tener el sistema a uso pleno en un periodo de tiempo determinado.

Factor de potencia: es el aprovechamiento del consumo de la energía (energía útil). Se calcula como el cociente entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA). El factor de potencia tiene valores entre 0 y 1.

Frecuencia eléctrica: se llama frecuencia al número de ciclos por segundo en que opera la corriente alterna, es expresado en Hertz (Hz). En Centroamérica, la frecuencia eléctrica es usualmente de 60 Hertz (Hz).

Potencia: es la cantidad de trabajo realizado en una unidad de tiempo. Su unidad de medida es el kilo-vatio (kW).

Resistencia eléctrica: es la oposición al flujo de electrones al moverse a través de un conductor eléctrico. Su unidad de medida es el Ohm, con símbolo " Ω ".

Tensión eléctrica: es la diferencia de tensión entre dos conductores eléctricos. Su unidad de medida es el Voltio (V).

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Esta Guía tiene como objetivo brindar recomendaciones sobre el diseño de las diferentes secciones de una MCH, y sirve como orientación para aquellos especialistas interesados que deseen conocer acerca de este tema.

I. Introducción

En el desarrollo de las Micro Centrales Hidroeléctricas (MCHs) no existe un modelo de instalación específico, eso sí, se mantienen los conceptos fundamentales asociados al diseño de las grandes centrales hidroeléctricas. Esta situación debe evitar que se incurra en sobre-dimensionamientos innecesarios, y por ende, en un excesivo costo constructivo.

II. Diseño de una MCH

2.1.- Potencia de diseño de una MCH

La potencia de diseño de una MCH se basa en el recurso hidráulico existente, y tiene como objetivo satisfacer una demanda de electricidad específica.

Los parámetros principales para la generación de energía eléctrica son el caudal (Q) y la altura (H). Una manera simplificada de estimar la potencia de una MCH es utilizando la siguiente ecuación:

$$P = kQH$$

Donde:

P, Potencia de la MCH (kW)

k, factor que incluye el efecto de los parámetros de densidad del agua, gravedad y eficiencia.

H, altura bruta (m)

Q, caudal (m³/s)

Para estas estimaciones se utilizan valores de k promedios, los cuales generalmente difieren ligeramente según el tamaño de la central y el tipo de turbina, según se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 1 Valores típicos de k.¹

Rango de Potencia	Valores de k
Picocentrales (>0 @ 5 kW) ²	4.0 – 5.0
Microcentrales (>5 @ 50 kW)	5.0 – 6.5
Mini centrales (>50 @ 500 kW)	6.0 – 7.0
Pequeñas, rangos mayores (>500 kW)	7.0 – 7.5

(Coz F, 1996)

2.2.- Diseño y construcción de las obras civiles

El buen funcionamiento y la vida útil de una MCH dependen del correcto diseño, operación y mantenimiento de un conjunto de secciones, dentro de las cuales se encuentran las denominadas obras civiles.

La cantidad y tipo de infraestructura de las obras civiles están en concordancia con la cantidad y calidad del agua del sitio donde se construirán las mismas. Es importante mencionar que en algunos casos se puede prescindir de alguna obra civil. A continuación, se explica el diseño de las principales secciones de obra civil de las MCHs:

2.2.1 Bocatoma

Diseño de la bocatoma: El diseño de la bocatoma, dependiendo de la importancia de la obra, debe contemplar el análisis de la topografía, geología, el comportamiento de los suelos y principalmente las variaciones hidrológicas del lugar que servirá de emplazamiento.

Para el diseño de esta estructura, se debe conocer la altura del nivel del agua del río en tiempo de estiaje y en tiempo de crecida. Los ríos que poseen un caudal permanente, se toma como referencia que la altura del nivel de agua varía de 0.20 a 0.70 m, por lo tanto se recomienda una altura del barraje³ que varíe desde los 0.40 a 0.60 m.⁴

¹ Basado en las referencias bibliográficas de la serie técnica.

² Hasta hace más de una década, esta clasificación comprendía los rangos de micro, mini, pequeñas, medianas y grandes centrales hidroeléctricas, en la actualidad se ha incrementado un rango adicional de pico turbinas que abarcan el conjunto de máquinas más pequeñas posibles de construir. Para el presente documento las picocentrales se incluirá dentro de las microcentrales hidroeléctricas.

³ El barraje es el muro de contención que se construye a lo ancho del río, puede ser de concreto o mixto (Concreto y madera), etc.

⁴ En la Guía Técnica 1. "¿Cómo se hace una evaluación preliminar de una PCH?" se presentan los pasos para realizar la medición de caudal y altura.

La bocatoma debe diseñarse para cumplir las siguientes funciones:

- Garantizar la captación de agua para garantizar un caudal constante, de preferencia en épocas de estiaje (época seca).
- Impedir, hasta donde sea posible el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que éstos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.
- Proteger el resto del sistema de obras hidráulicas del ingreso de avenidas o embalses que pudieran producirse en las épocas de lluvia.

En los proyectos de MCHs, donde el caudal de captación no supera a 800 l/s y cuando las condiciones topográficas y características del río son favorables, los tipos de bocatomas más utilizados son los llamados de barraje mixto. En la Figura 1 siguiente se muestra una bocatoma de barraje mixto.

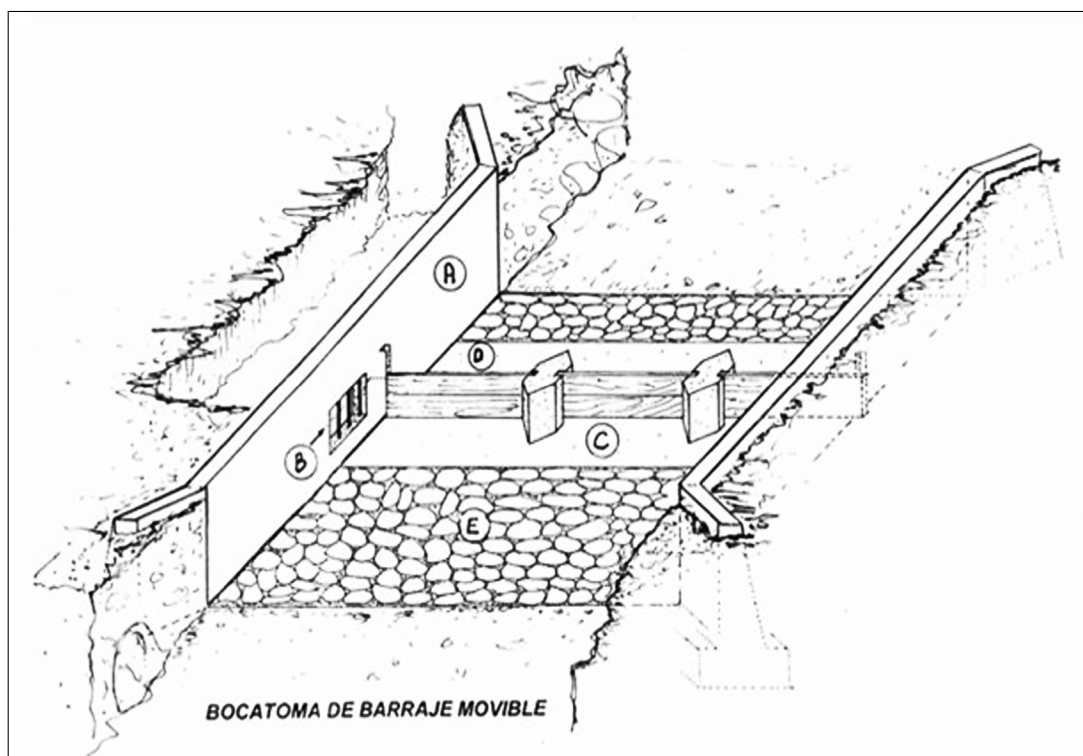


Figura 1. Bocatoma de barraje mixto
Fuente: Archivos gráficos de Soluciones Prácticas, Lima, Perú

Leyenda: **A:** Muros de encauzamiento; **B:** Ventana de captación; **C:** Base de barraje y columnas con ataguías; **D:** Barraje móvil; y **E:** Emboquillado de lecho de río.

Para el diseño de la bocatoma de barraje mixto se debe tomar en consideración realizar los cálculos de los muros de encausamiento, barraje y ventana de captación.

Construcción de la bocatoma: Para la construcción de la bocatoma, se deben considerar los siguientes elementos:

- El costo de la bocatoma representa generalmente el 9% de los costos totales de una MCH, sin embargo, cuando existen condiciones adversas -como por ejemplo una zona muy rocosa- los costos pueden ser mayores.
- La ubicación más apropiada de una bocatoma es en los tramos rectos y estables del cauce de un río, es decir donde no existan peligros de deslizamientos, inundaciones, erosiones, etc.
- La construcción de la bocatoma debe realizarse en las épocas de estiaje.
- El material convencional de los muros de encausamiento es de concreto simple con adición de hasta un 30% de piedra grande.

2.2.2. Canal de Conducción

Diseño del canal: La función principal del canal es conducir el caudal de diseño desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por uno o varios desarenadores y otras obras que puedan construirse en el trayecto.

Existen diferentes tipos de canales por lo que su utilización depende de las características del terreno, facilidad de construcción y la existencia de materiales. Entre los canales más conocidos por su forma geométrica son los rectangulares, trapezoidales y circulares, los cuales pueden ser abiertos o cerrados, a excepción de los circulares que generalmente son tuberías⁵.

Para su diseño es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada tramo de longitud del mismo. Una vez elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, se procederá a calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y final de éste.

Para canales de conducción de MCHs, se recomienda pendientes en el rango de 2 o 3 por mil (es decir, por cada 1,000 metros de distancia, un desnivel de 2 a 3 metros), y para tubo-canales se recomienda pendientes de 5 a 6 por mil para evitar la sedimentación.

Si las pendientes del terreno son pronunciadas, es decir pendientes mayores a 7 por 1000 solamente se utilizará tubería de presión, obviando el canal de conducción, para ello el diseñador hará la evaluación técnica correspondiente.

⁵ Cuando una tubería es utilizada para cumplir las funciones de un canal de conducción, que es el transporte del agua, a ésta se le denomina tubo-canal.

Construcción de canales: Para la construcción de un canal hay que tener las siguientes consideraciones:

- En los lugares donde hay zonas de deslizamiento, los canales deben ser tapados para evitar obstrucciones.
- En lugares donde los espacios para la construcción de un canal son reducidos, se deben utilizar los canales rectangulares, ya que hay opción de hacerlos más profundos.
- Los canales que son solamente de tierra deben ser contruidos en lugares donde el terreno es arcilloso, porque si es un material suelto como es el suelo arenoso, hará que las paredes se derrumben, causando obstrucciones y ensanchamiento de los mismos.

El revestimiento de canales será necesario en lugares donde se justifique (e.g., terrenos arenosos, gredosos) que permiten alta filtración del agua en movimiento.

El tubo-canal se puede utilizar en diferentes tipos de terreno cuando su costo es inferior a otras alternativas, sin embargo, es conveniente utilizarlo en zonas con mucha vegetación debido a que los canales abiertos están expuestos a la caída de hojas, arbustos u otros sólidos en suspensión, causantes de obstrucciones del flujo de agua. Es importante hacer una evaluación de costos entre un canal tapado y un tubo-canal para decidir cuál de ellos implementar.

El material de los tubo-canales puede ser de PVC, polipropileno, concreto, madera, fibra de vidrio entre otros. Asimismo, cuando se construyen los tubo-canales, en su trayecto deben tener registros de inspección con la finalidad de realizar el mantenimiento, considerando que pueden presentarse obstrucciones.

Es importante que durante la instalación del tubo canal se tenga un riguroso cuidado en conseguir la pendiente establecida en el diseño y fijar al tubo de tal manera que no ocurran pandeos.

2.2.3 Desarenador

Diseño del desarenador: La función del desarenador es de sedimentar las partículas de arena que lleva el agua a través del canal de conducción, debido a que las mismas causan erosión en los álabes del rodete y en el interior de la carcasa de la turbina.

El diseño del desarenador depende de la calidad del agua, es decir, del tipo y tamaño de partículas que arrastra. Se espera que cerca de la bocatoma se diseñe un desarenador para captar partículas de arena grandes; llamado desrripiador. Igualmente dependiendo de las características de la cuenca donde se instalará el sistema y de la longitud del canal, se pueden construir varios desarenadores en el trayecto. El desarenador que decantará partículas de arena más finas será el que está cerca de la cámara de carga.

Si se presentan las condiciones para instalar sólo tubería de presión desde la bocatoma, se recomienda evaluar la necesidad de un desarenador, si fuera así, este desarenador iría junto a la bocatoma.

Construcción del desarenador: En MCHs, la importancia de los desarenadores radica en la seguridad que tienen que brindar durante la vida del proyecto, su practicidad y funcionalidad⁶.

El desarenador se ubica generalmente después de la bocatoma, y especialmente cuando los canales son abiertos, otro junto a la cámara de carga.

Se puede prescindir de un desarenador cuando el agua no acarrea arena, usualmente cuando la captación se realiza muy cerca a la naciente de una fuente de agua o manantial. En caso contrario es recomendable la instalación de un desarenador, véase Figura 3.



*Figura 3. Utilización de tubo de PVC como compuerta
Fuente: Archivos fotográficos de Soluciones Prácticas,*

⁶ Un ejemplo práctico es la utilización de un tubo de PVC con un codo en reemplazo de la compuerta de limpia especialmente para caudales menores a 200 l/s.

2.2.4 Cámara de Carga

Diseño de la cámara de carga: La función de la cámara de carga es actuar como una reserva de agua adicional para mantener la presión de caída de la tubería. La cámara de carga requiere de una entrada continua de agua desde el canal para mantener su nivel máximo.

Un diseño práctico y funcional de la cámara de carga es la que se construye junto al desarenador, formando una sola estructura denominada desarenador-cámara.

Construcción de la cámara de carga: Para la construcción de la cámara de carga hay que tener en cuenta lo siguiente:

Es conveniente, para el caso de las MCHs, construir un desarenador- cámara de carga, ya que el agua almacenada en el desarenador formará parte de la cámara. Asimismo, cumple la función de decantar las partículas de arena, es decir, una sola estructura con doble función, reduciéndose de esta manera los costos.

El desarenador contará con una válvula de purga para poder sacar y eliminar todos los sedimentos almacenados por la decantación. También llevará un vertedero lateral para desviar el exceso de agua y una rejilla que no permite ingresar elementos en suspensión que acarrea el agua.

Durante la operación es necesaria la limpieza constante de los sólidos en suspensión atrapados en la rejilla (actividad quincenal), ya que obstruyen el paso del agua que ingresa a la tubería de presión.

En algunos lugares donde el agua no presenta sólidos en suspensión y los caudales son pequeños se puede obviar las infraestructuras convencionales de cámara de carga como, por ejemplo, en la Figura 4 se muestra una cámara de carga de madera y a la vez también es captación⁷.



Figura 4. Cámara de carga de madera Fuente: Archivos fotográficos Dávila C, Lima, Perú

⁷ Foto tomada en Kimberley, BC, Canadá, Picocentral hidroeléctrica de 3 kW

2.2.5 Tubería de presión

Diseño de tubería de presión: El diseño de la tubería de presión consiste en realizar los cálculos del diámetro para que pueda trasladar el caudal de diseño.

Para el diseño de la tubería de presión se deben considerar los siguientes parámetros: caudal, altura, longitud de la tubería, material de la tubería y el perfil del terreno.

El rozamiento del agua en las paredes de la tubería ocasiona pérdidas denominada pérdidas de altura. Esto significa que durante el diseño hay que restar la pérdida de altura medida en el terreno (altura geodésica), dando como resultado la altura de diseño o altura neta.

El valor típico de la pérdida de altura para las MCHs es alrededor del 5% de la altura geodésica, considerada como un valor referencial para los cálculos, sin embargo, hay situaciones en que cuando existe caudal suficiente se puede aumentar la pérdida de altura, disminuyendo el diámetro de la tubería. Es decir, habrá mayores pérdidas y menor altura neta, para ello se analizará si es que la disminución de altura neta va a representar un ahorro en el costo al utilizar un menor diámetro de tubería.

En MCHs es común utilizar tubería de material tipo PVC-AP, por ser de menor peso, fácil de instalar y de menor costo que la tubería de acero. Sin embargo, hay que consultar a los fabricantes de tuberías para conocer los rangos de presión que recomiendan utilizar.

Se recomienda que el trazo de la tubería de presión sea en lo posible una línea recta y que el cambio de dirección sea en sentido vertical; dependiendo de la topografía del terreno.

Es importante que el recorrido de la tubería de presión se haga por las crestas del terreno o cerca de ellas, de acuerdo a las características del terreno, ya que para la instalación de la tubería no es conveniente hacer los trazos por las depresiones o valles debido a que durante la época de lluvias las tuberías enterradas van a ser descubiertas por el agua, o los anclajes sufrirán debilitamiento cuando la instalación es aérea.

Los datos para el diseño de la tubería de presión se obtienen del trazo del perfil del terreno en el sitio, preferiblemente realizado por un topógrafo o un especialista en instalación de tuberías. Esto brindaría la información para seleccionar el perfil de la tubería de presión más adecuado, por ejemplo: si es terreno rocoso no se podría instalar tuberías de PVC ya que será complicada la excavación del terreno.

Asimismo, con el perfil de la tubería se mostrarán los cambios de dirección, longitud de cada tramo de tubería, ubicación de los anclajes y/o de los apoyos.

Instalación de la tubería de presión: La instalación de la tubería de presión, puede ser enterrada cuando el material de la tubería es de PVC o puede ser aérea cuando el material de la tubería es de material resistente a los rayos solares y a las condiciones del clima.

Se recomienda que la tubería de presión de PVC se entierre a una profundidad de 0.80 m. Si existen cambios de dirección, los tubos se unen con curvas de PVC fabricados según los ángulos del perfil de la tubería, colocando anclajes en cada una de estas.

Cuando la tubería de presión es de acero, su instalación es aérea y va sobre soportes de concreto, denominados apoyos. Asimismo, en cada cambio de dirección lleva sus respectivos anclajes, los cuales consisten en bloques de concreto diseñados para tal fin.

Es recomendable que la instalación de la tubería se inicie en la parte inferior, es decir, de abajo hacia arriba, desde la casa de máquinas hacia la cámara de carga.

2.3.- Diseño del equipo electromecánico

Los componentes principales del equipo electromecánico son la turbina hidráulica, el generador eléctrico y el controlador de carga. En una MCH para mantener el voltaje y frecuencia constantes, la demanda de la energía tiene que ser igual a la producción de la misma, sin embargo, se sabe que esta situación no sucede al ser el consumo variable durante todo el día.

Por la razón antes mencionada, se utilizan un controlador de velocidad y voltaje, resultando un componente principal del equipo electromecánico e indispensable en una MCH.

2.3.1. Turbinas hidráulicas

Diseño de turbinas: Los parámetros para el diseño de las turbinas son el caudal de diseño y la altura neta. Inicialmente, hay que seleccionar el tipo de turbinas cuyo principal criterio de selección es la velocidad específica o también denominado número específico de revoluciones. El criterio más utilizado para las MCHs es el número específico de revoluciones de potencia **N_s** , cuya ecuación es la siguiente:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (\text{Ecuación N° 1})$$

$$P = \rho g Q H \eta_T \quad (\text{Ecuación N° 2})$$

Donde:

- N Velocidad de rotación de la turbina, rpm
- H Salto neto, m
- P Potencia al eje de la turbina, kW
- ρ densidad del agua, kg/m³
- g Aceleración de la gravedad, m/s²
- η_T Eficiencia de la turbina

Entre otros criterios a tener en cuenta para la selección de la turbina están: la eficiencia, la capacidad de la máquina para trabajar a cargas parciales, existencia de repuestos y servicios, velocidad de embalaje, cavitación y costo.

En la selección del tipo de turbina en algunos casos, existe la opción de decidir entre dos o más tipos de turbinas, ya que ambas se puedan utilizar para las mismas condiciones de caudal y altura. En este caso se podrá elegir la turbina que mejor beneficia al proyecto, evaluando el costo, eficiencia de cada turbina y los criterios antes mencionados.

En el diseño hay que tener en cuenta que la velocidad de giro de la turbina no sea demasiado baja, lo que causaría que la relación de transmisión sea muy grande y aumente el costo. Basado en esto, es preferible no utilizar sistema de doble transmisión⁸ cuando sea posible.

Fabricación de turbinas: Para las MCHs, las turbinas más utilizadas son las turbinas de flujo cruzado (Michell-Banki) y tipo Pelton.

⁸ En el diseño de la transmisión por poleas y fajas, para llegar a la velocidad del generador, muchas veces en los cálculos resulta que hay que utilizar doble transmisión, por lo que la velocidad de la turbina en lo posible debe ser mayor de 450 RPM. La utilización de doble transmisión aumenta los costos.

Una vez que se ha definido el tipo de turbina, para la fabricación hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La turbina debe estar construida de tal manera que facilite el cambio de partes (repuestos) y tenga facilidad de montaje y desmontaje.
- Fabricación de modelos estándares que abarquen un cierto rango de condiciones de caudal y altura. El contar con modelos estándares significa disminución de costos y por lo consiguiente serán estos más atractivos para los usuarios finales.
- Fabricación de una base de cimentación para la turbina que incluya al generador, con la finalidad de facilitar la instalación.

Montaje de turbinas: Para realizar el montaje de las turbinas hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Coordinación con el ejecutor de las obras civiles: Brinda el conocimiento preciso de las dimensiones de la casa de máquinas, compartimientos, dimensiones de las puertas, ventanas y su ubicación.
- Conocimiento de la dimensión del diámetro de la tubería de presión: Permite el avance en tareas como tener listo el acople a utilizar en la unión con la turbina, además el tipo de acople debe facilitar el montaje de las turbinas.
- Conocimiento de la ubicación del canal de descarga: Permite realizar la cimentación, así como también ubicar los otros componentes del equipo electromecánico.
- Contar con los equipos y herramientas de montaje adecuados.

La instalación del tubo de ingreso de la turbina y la tubería de presión se facilita cuando la turbina y el generador cuentan con una base de cimentación conjunta, ya que es más fácil el alineamiento, nivelación, aseguramiento y vaciado del hormigón.

2.3.2. Generador eléctrico

Selección del generador eléctrico: La elección del generador se realiza en función de la estabilidad del voltaje y frecuencia que brinde. Los fabricantes de generadores tienen estandarizados sus modelos en relación con la potencia.

Para seleccionar el generador hay que tener en cuenta la potencia de generación, el voltaje, la frecuencia de cada región y el tipo de generador (monofásico o trifásico).

Al seleccionar un generador, se debe especificar al fabricante o proveedor que el equipo trabajará junto con una turbina hidráulica, ya que en el mercado existen generadores diseñados para sistemas de combustión interna. Estos últimos son fabricados con un solo rodamiento y no son útiles para las MCHs, al ser los adecuados con doble rodamiento.

Para potencias menores a 10 kW se puede optar por la utilización de generadores asíncronos (motores que trabajan como generadores), por lo que para ello se deben conocer las ventajas y desventajas de esta tecnología (Ver Tabla N° 2).

Tabla N° 2. Ventajas y desventajas de un generador de inducción (Maher P, 2001, págs. 9- 4)

GENERADORES DE INDUCCIÓN ASÍNCRONOS	
Ventajas	Desventajas
Disponibilidad en el mercado	Rangos de voltaje - Se usa un motor trifásico y su generación es solo monofásica a 220 V
Menor costo que los generadores síncronos	Requiere de capacitores correctamente seleccionados, para operar como generador.
Solidez- Son diseñados para trabajos arduos	No es bueno para el arranque de motores- Si se requiere arrancar motores mayores a su capacidad en mejor utilizar generadores síncronos.
Soporta sobre-velocidades	

Montaje de generadores: Al igual que en el montaje de la turbina, se facilita al contar con la base de cimentación turbina-generador, ya que en el sitio de instalación solamente se procederá al alineamiento con la turbina y tensado de poleas cuando posea este sistema.

2.3.3 Controladores de velocidad y voltaje

Selección de los controladores de velocidad: El control de la velocidad o control de frecuencia pueden realizarse mediante el control de caudal, el control de cargas o un sistema mixto (control de caudal y carga). Los controladores que más se utilizan para MCHs son los electrónicos de carga, llamados también reguladores electrónicos de carga.

El control de la velocidad mediante cargas es el método más fácil para la operación de la turbina debido a que bajo este sistema se genera el total de la carga, derivando el excedente de carga hacia una carga secundaria donde se disipa en forma de calor.

El controlador de voltaje: El controlador de voltaje en sistemas aislados se utiliza para los generadores asíncronos menores a 10 kW. El control electrónico de carga deriva el excedente de energía hacia una carga secundaria, manteniendo de esta manera el voltaje constante.

La selección del controlador electrónico de carga se realiza considerando las características de voltaje y frecuencia con los que se ha seleccionado el generador. Asimismo, se debe tener en cuenta también la potencia y el tipo de conexión⁹.

Instalación del o los tableros de control: Para el control de una MCH generalmente existe más de un tablero, uno de ellos es el gabinete donde se encuentra el controlador electrónico de carga y adicionalmente dependiendo de la potencia pueden existir gabinetes para instrumentos, llaves de control o gabinetes para control de dispositivos. Algunas consideraciones que deben tener son:

- Distribuir el área para la fijación de los gabinetes, preferentemente en la pared utilizando fijaciones seguras y que no estén alejados, para facilitar la alimentación con los conductores eléctricos.
- Se debe realizar el adecuado cálculo y selección de los conductores eléctricos. Cuando existe más de un tablero, los conductores van a ser conectados del generador al tablero principal, de allí se deriva la energía a la carga principal en paralelo con el regulador electrónico de carga y los otros gabinetes.
- Los conductores eléctricos deben tener el aislamiento adecuado y los ajustes en las bornas deben ser los correctos¹⁰.

Se debe verificar el voltaje de alimentación que tiene cada gabinete para hacer la alimentación con el voltaje requerido y con la conexión correcta.

Pruebas y puesta en funcionamiento: Se deben realizar las pruebas de funcionamiento teniendo en cuenta los parámetros de voltaje, frecuencia, velocidad y procesos de acuerdo a los manuales de construcción de los proveedores según las características constructivas del proyecto.

⁹ El tipo de conexionado puede ser estrella, triángulo, ZIG ZAG, etc.

¹⁰ Un ajuste correcto significa que el ajuste debe estar a tope para no permitir que los conductores puedan salirse de las bornas.

Esta Guía es posible gracias al apoyo del pueblo estadounidense a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Los contenidos son responsabilidad exclusiva de BUN-CA y no reflejan necesariamente los puntos de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.



USAID es la agencia líder del gobierno de los E.E.U.U. que trabaja para poner fin a la extrema pobreza mundial y permitir que las sociedades democráticas y resilientes desarrollen todo su potencial.

En nombre del pueblo estadounidense, promovemos y demostramos los valores democráticos en el exterior, y avanzamos hacia un mundo libre, pacífico y próspero. En apoyo de la política exterior de los Estados Unidos, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) lidera el desarrollo internacional y la asistencia a los desastres mediante alianzas e inversiones que salvan vidas, reducen la pobreza, fortalecen la gobernabilidad democrática, y ayudan a las personas a salir de las crisis humanitarias y a su progreso más allá de la asistencia.

www.usaid.gov



El Programa Energizing Development (EnDev) promueve el acceso sostenible a servicios de energía modernos que satisfagan las necesidades de los pobres, de larga duración, asequibles y apreciados por los usuarios. EnDev trabaja en 25 países de África, Asia y América Latina. Desde el 2005, EnDev ha asumido un papel de liderazgo en la promoción del acceso a la energía sostenible para todos.

www.endev.info



BUN-CA es una organización no gubernamental, legalmente constituida en Costa Rica desde 1991, la cual trabaja en la región centroamericana desde Belice hasta Panamá, en los temas de: Energía Renovable mediante el uso sostenible de tecnologías más limpias y comercialmente viables; y Eficiencia Energética para optimizar los sistemas de generación, distribución y uso final de la energía, sobre todo para las poblaciones más vulnerables.

+506 2283 8835 • www.bun-ca.org • San José, Costa Rica